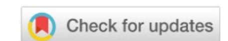
ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
TECHNOSPHERE SAFETY

УДК 504.06:613.1/.9 *Оригинальное эмпирическое исследование*

https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-3-49-56

Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха и аэрогенного риска здоровью населения города Новочеркасска



П.В. Климов, **Е.С. Андреева** 

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ meteo0717@yandex.ru

EDN: SKECCW

Аннотация

Введение. Оценка уровня загрязнения воздуха городской среды и обусловленного им риска здоровью населения является актуальной научной задачей. Как представляется, невозможно обеспечить экологическую безопасность урбанизированных зон, если качество воздуха в их пределах не соответствует установленным стандартам. Несмотря на хорошо разработанный методический аппарат, позволяющий оценить риск здоровью населения городской среды, результатов подобных исследований в региональном аспекте недостаточно. В то же время почти половина всех жителей Российской Федерации в настоящее время проживает в городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения воздуха. На юге России в число городов с наиболее загрязненной воздушной средой в исследуемый период 2014–2021 гг. был включен г. Новочеркасск, что и обусловило необходимость проведения соответствующих научных изысканий. Цель данного исследования — оценить показатели риска здоровью населения г. Новочеркасска, вызванного загрязнением атмосферного воздуха.

Материалы и методы. В работе использованы данные ежегодников о состоянии загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2014–2021 гг., подготовленных в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»[1]. В числе примененных авторами методов литературные, методы математико-статистического анализа.

Результаты исследования. Уровень загрязнения атмосферного воздуха за период 2017–2021 годов достигал опасных для здоровья населения значений. Наибольший вклад в риск нарушения здоровья вносят взвешенные вещества и оксид углерода. Значения комплексного показателя P, оцененного по среднегодовым концентрациям, показали, что уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Новочеркасске в 1,68 раза выше, чем в крупнейшем городе региона Ростове-на-Дону. Наибольший уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Новочеркасска отмечен в пределах поста II, находящегося на пересечении автомагистралей и приближенного к зоне воздействия промышленных предприятий.

Обсуждение и заключение. Проведенные расчеты показали, что воздействие загрязненного атмосферного воздуха может вызвать симптомы хронической интоксикации у 240–280 человек из тысячи, при достижении максимальных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Новочеркасска от 579 до 692 человек из тысячи жителей могут испытать неблагоприятные рефлекторные реакции. В связи с выявленным опасным для здоровья населения загрязнением атмосферного воздуха рекомендуется расширение площади зеленых насаждений и создание двух дополнительных постов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха: в селитебной зоне города и вблизи Новочеркасской ГРЭС, в микрорайоне «Донской».

Ключевые слова: уровень загрязнения атмосферного воздуха, аэрогенные риски здоровью населения, неканцерогенные эффекты, канцерогенные риски здоровью, интоксикация, острое и хроническое действие

Благодарности. Авторы выражают благодарность коллегам, специалистам Федерального государственного бюджетного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» за предоставленные материалы для исследований.

[1] *Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России. Ежегодники.* 2014–2021 гг. URL: http://voeikovmgo.ru/index.php (дата обращения: 23.05.2024).

Для цитирования. Климов П.В., Андреева Е.С. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха и аэрогенного риска здоровью населения города Новочеркасска. *Безопасность техногенных и природных систем.* 2024;8(3):49–56. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-3-49-56

Original Empirical Research

Assessment of the Level of Air Pollution and Aerogenic Risk to the Health of the People of Novocherkassk

Petr V. Klimov , Elena S. Andreeva
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation
meteo0717@yandex.ru

Abstract

Introduction. Assessment of the level of urban air pollution and its impact on public health is a crucial scientific task. Ensuring the environmental safety of urban areas is impossible if the air quality does not meet the established standards. Despite well-developed methodologies for assessing the health risks of urban environments, the results of such research in the regional context are insufficient. Currently, almost half of the population of the Russian Federation lives in cities with high or very high levels of air pollution. Among these cities, Novocherkassk in the south of Russia was identified as one of the most polluted in the period from 2014 to 2021. This necessitates conducting scientific research to assess the health risks associated with atmospheric air pollution in Novocherkassk. The aim of this study was to evaluate the health risks posed to the population of Novocherkassk due to air pollution.

Materials and Methods. The study used data from annual reports on the state of air pollution in cities in Russia from 2014 to 2021, which were prepared by the Federal State Budgetary Institution "Voeikov Main Geophysical Observatory". The authors used literary methods and methods of mathematical and statistical analysis in their work.

Results. The level of atmospheric air pollution for the period from 2017 to 2021 reached dangerous values for public health. Suspended solids and carbon oxide contributed most to the risk of health problems. The values of the complex indicator *P*, estimated by average annual concentrations, showed that the level of atmospheric air pollution in Novocherkassk was 1.68 times higher than in the largest city in the region, Rostov-on-Don. The highest level of atmospheric air pollution in Novocherkassk was noted within Post II, located at the intersection of highways and close to the impact zone of industrial enterprises.

Discussion and Conclusion. The calculations showed that exposure to polluted atmospheric air could cause symptoms of chronic intoxication in 240–280 out of every thousand people. When the maximum concentrations of pollutants in the atmospheric air of Novocherkassk were reached, from 579 to 692 people out of a thousand residents might experience adverse reflex reactions. In light of the identified health risks from air pollution, it is recommended to increase the number of green spaces and establish two additional monitoring stations for atmospheric pollution: one in the city's residential area and one near the Novocherkassk GRES power plant in the Donskoy district.

Keywords: level of atmospheric air pollution, aerogenic risks to public health, non-carcinogenic effects, carcinogenic health risks, intoxication, acute and chronic effects

Acknowledgements. The authors would like to express their gratitude to the colleagues and specialists of the Federal State Budgetary Institution "Voeikov Main Geophysical Observatory" for providing materials for the research.

For citation. Klimov PV, Andreeva ES. Assessment of the Level of Air Pollution and Aerogenic Risk to the Health of the People of Novocherkassk. *Safety of Technogenic and Natural Systems.* 2024;8(3):49–56. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-3-49-56

Введение. Качество жизни, здоровье населения связаны с факторами окружающей среды, особенно антропогенными. В Российской Федерации 63,6 % населения испытывает выраженное воздействие на здоровье различных природно-экологических и социально- гигиенических факторов[2].

Для урбанизированных территорий ведущим фактором такого воздействия становится физико-химическое преобразование нижнего слоя атмосферы, обусловленное его загрязнением. Так, по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в 2022 году 99 % населения мира проживало в районах с высоким уровнем концентрации аэрополлютантов. Кроме того, загрязнение атмосферного воздуха стало причиной преждевременной смерти в этом же году около семи миллионов человек во всем мире. Важно отметить, что анализ воздействия средовых факторов показывает, что в России около 70 % заболеваний неинфекционного характера обусловливаются загрязнением атмосферного воздуха [1].

[2] *О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году*. Государственный доклад. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=21796 (дата обращения: 20.04.2024).

Как показывает практика, опасные для здоровья населения концентрации загрязняющих веществ чаще приурочены к центральным частям крупных городов, а также к территориям, расположенным вблизи промышленных узлов или транспортных коммуникаций. В связи с этим оценка загрязнения атмосферного воздуха по-прежнему является актуальной задачей исследований в области экологии человека. Надежным инструментом для характеристики загрязнения атмосферного воздуха является оценка показателей риска для здоровья населения. Подобная оценка позволяет всесторонне изучить масштаб воздействия загрязненного воздуха на состояние здоровья населения, дополняя действующую в России систему оценки воздействия загрязняющих веществ на здоровье.

В настоящее время немногим менее половины всего населения Российской Федерации проживает в урбанизированных зонах с высокой и очень высокой загрязненностью воздушного бассейна[3]. Удобное транспортное расположение и трудовой потенциал г. Новочеркасска способствовали формированию многоотраслевого промышленного комплекса, оказывающего существенное влияние на окружающую среду и здоровье населения. В 2021 году Новочеркасск был включен в список городов РФ с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха [2]. В связи с вышеизложенным Новочеркасск, крупный производственных и логистический центр Ростовской области, является объектом настоящего исследования как город с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха.

Большинство крупных промышленных предприятий Новочеркасска расположены в промышленном районе, отделенном от исторического центра города поймой реки Тузлов. Исключением является Новочеркасская ГРЭС, расположенная вблизи отдаленного микрокрайона «Донской», включенного в состав Новочеркасска в 2004 году. При восточном направлении ветра воздушные потоки от Новочеркасской ГРЭС загрязняют воздух в городе, при западном и юго-западном — воздействуют на воздух в микрорайоне «Донской». Важно отметить, что коэффициент самоочищения атмосферы на исследуемой территории составляет за год 4,39, что не способствует рассеиванию антропогенных примесей [3, 4]. Данная ситуация объясняется высокой повторяемостью метеорологических процессов, способствующих кумуляции загрязняющих веществ до опасных концентраций в приземном слое. К тому же площадь озеленения городской территории Новочеркасска составляет только 44 % от нормы, этого также недостаточно для эффективного очищения воздуха.

Как представляется авторам, комплексная оценка загрязнения приземного слоя воздуха в условиях урбанизации в последнее время не проводилась. Только с 2017 года здесь начали функционировать три стационарных мониторинговых поста контроля качества приземного воздуха, до этого на территории города велись лишь маршрутные наблюдения. Поэтому данное исследование нацелено на то, чтобы оценить риски здоровью населения Новочеркасска, вызванные загрязнением приземного слоя воздушного пространства.

Для реализации поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Произведена оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха в пределах города.
2. Рассчитаны численные значения коэффициентов и индексов неканцерогенных эффектов при остром и хроническом воздействии на здоровье населения.
3. Осуществлены расчеты рисков здоровью населения, обусловленных хронической интоксикацией и немедленным действием ряда загрязняющих веществ.
4. Выявлен вклад загрязняющих веществ в формирование показателей риска здоровью населения.

Материалы и методы. В основу исследования были положены данные о фактических концентрациях ряда аэрополлютантов, полученные на стационарных постах наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха ФГБУ «Северо-Кавказское управление гидрометеорологической службы» за 2017–2021 годы [5]. С 2017 года в Новочеркасске начали функционировать три стационарных поста, которые в данном исследовании обозначены как посты I, II, III. Пост I расположен в центральной части города, на пересечении автомагистралей. Пост III находится в зоне воздействия промышленных предприятий. Пост II также расположен в пределах зоны воздействия промышленных предприятий, на пересечении автомагистралей.

В связи с недостаточным количеством постов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха рекомендуется создание еще двух дополнительных постов, один из которых, условно обозначенный как пост 1, предлагается разместить в селитебной зоне на улице Петровской, 1. Для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха вблизи Новочеркасской ГРЭС предлагается создание поста в микрорайоне «Донской», условно обозначенного как пост 2. Действующие стационарные посты наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха (указаны в работе как номера I, II, III) и рекомендуемые для создания посты наблюдения за состоянием воздушного бассейна города (обозначены в работе как номера 1, 2) представлены на рис. 1.

[3] *О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году.* Государственный доклад. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2021_/?ysclid=lwoteqy14b321565566 (дата обращения: 19.04.2024).

В соответствии с целью исследования была рассчитана кратность превышения среднегодовых и максимально разовых концентраций анализируемых аэрополлютантов, соответствующих предельно гигиенически допустимым нормативам. Уровень загрязнения наружного воздуха исчислялся с помощью показателя Р[4].

Расчет показателя Р проводился по формуле:

$$P = \sqrt{\sum K_I^2}, \qquad (1)$$

где *K* — кратность превышения ПДК веществ различных классов опасности, приведенных к третьему классу.

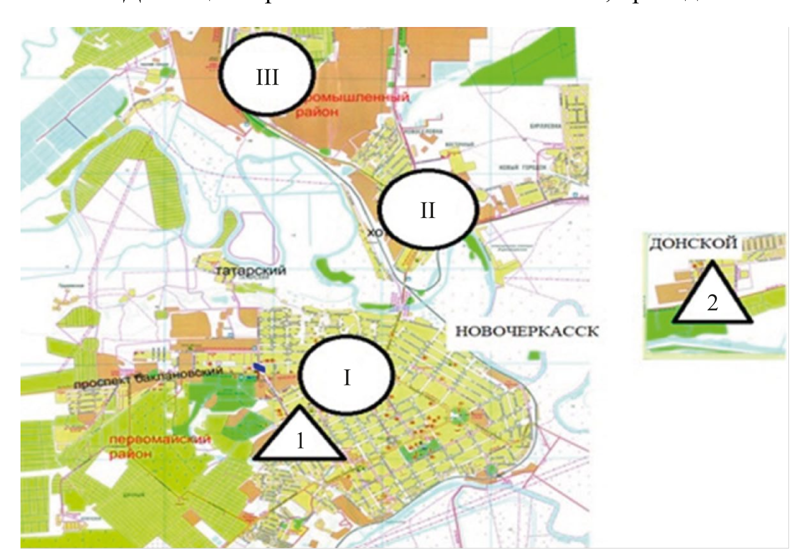


Рис. 1. Посты наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха на территории города Новочеркасска[5]

Выбор неканцерогенных эффектов в качестве показателей риска был обусловлен перечнем вредных веществ неканцерогенного действия[6], концентрации которых отслеживаются на стационарных постах наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха Новочеркасска.

В качестве основного метода оценки риска использовался метод расчета коэффициентов и индексов неканцерогенных эффектов при хроническом и остром воздействии [6, 7]. В качестве дополнительной процедуры определялись риски хронической интоксикации и немедленного действия[7].

Результаты исследования. Повышенные объемы выбросов автотранспорта и промышленных предприятий приводят к опасному загрязнению атмосферного воздуха Новочеркасска. Так, за период с 2017 по 2021 год оказались превышены среднегодовые концентрации взвешенных веществ, диоксидов азота, оксидов углерода, формальдегида, оказывающих на здоровье населения как канцерогенные, так и неканцерогенные воздействия. Наибольшие при этом кратности превышения ПДК сс за исследуемый промежуток времени были выявлены в отношении среднегодовых концентраций взвешенных веществ (от 1,8 до 6 ПДК), формальдегида (от 0,7 до 2,7 ПДК), диоксидов азота (от 0,4 до 2,2 ПДК), оксидов углерода (от 0,63 до 2,17 ПДК).

Важно отметить, что наибольшие кратности превышений максимально разовой ПДК мр были выявлены также в случае взвешенных веществ и окиси углерода, составив 2,0–13,2 ПДК и 1,25–10,0 ПДК соответственно. Превышение в приземном слое воздуха города ПДК мр формальдегида достигало 1,44–3,74, диоксидов азота — 0,45–1,85. Среднегодовые и максимально разовые концентрации сернистого газа и оксидов азота за изучаемый временной интервал, как показали проведенные исследования, не превышали значений соответствующих ПДК.

На основе учета среднегодовых концентраций оцениваемых веществ были вычислены значения комплексного параметра *P*, составившие за указанный период 4,0–5,0, что позволило сделать вывод о наличии опасного уровня загрязнения приземного воздуха.

Расчеты параметра *P*, выполненные с помощью учета максимально разовых концентраций исследуемых в работе веществ, позволили выявить вызывающий опасения уровень загрязнения приземного слоя, поскольку значения параметра *P* составили 22,0–28,5.

[4] Р 2.1.10.192–04. *Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду.* URL: https://docs.cntd.ru/document/1200037399 (дата обращения: 28.03.2024).
[5] *Экологический вестник Дона.* URL: https://xn--d1ahaoghbejbc5k.xn--p1ai/about/projects/all/19/?ysclid=lwotyc7mh7723274679 (дата обращения: 28.03.2024).
[6] Р 2.1.10.192-04. *Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду.* Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200037399 (дата обращения: 28.03.2024).
[7] *Cancer. World Health Organization* (April 21, 2024). Retrieved from https://www.who.int/health-topics/cancer#tab=tab_1 (дата обращения: 28.03.2024).

В пределах поста II были выявлены наибольшие значения параметра P, оцененные по среднегодовым и максимально разовым концентрациям загрязняющих веществ, рассматриваемых в данном исследовании. Как показал анализ значений индексов риска хронического воздействия, рассчитанных в работе, в зависимости от местоположения поста наблюдений их величины изменялись от 33,5 до 37,1. Диапазон значений индекса острого воздействия составлял 15,9–22,6.

Как показывают данные медицинской статистики, наиболее уязвимы к острому и хроническому воздействию органы дыхания и вся дыхательная система. В частности, доля нарушений со стороны органов дыхания составила от 38,22 до 42,37 %. Вклад указанных выше угроз и сбоев в работе дыхательной системы человека в общий уровень индекса острого воздействия достиг максимальных значений — от 45,47 до 49,81 %. Поэтому вполне очевидно, что повышенный уровень загрязнения приземного слоя воздуха в большей мере обеспечивает риск острого воздействия, что не противоречит как теоретическим построениям, так и практическим расчетам.

Величина суммарного риска хронической интоксикации изменялась в зависимости от расположения поста наблюдения — от 0,24 до 0,28. Уровень риска хронической интоксикации, как показали расчеты, в основном формировался за счет концентраций взвешенных веществ, вклад которых обусловил широкий диапазон значений (от 35,27 до 47,81 %) в зависимости от точки расположения поста наблюдения сети экологического мониторинга атмосферного воздуха. Существенные величины максимального риска отдельной примеси обусловили высокие значения уровня суммарного риска немедленного действия выявленных в составе рассматриваемых в исследовании загрязняющих веществ.

Интересно отметить, что в пределах постов наблюдений I и II, расположенных вблизи автомагистралей, величина суммарного риска немедленного действия обеспечивалась значительным уровнем максимального риска в отношении концентраций взвешенных веществ, достигнув значений 0,58 и 0,69 соответственно.

Вблизи поста III высокие концентрации оксида углерода, обусловив значительный уровень максимального риска, привели к росту значений суммарного риска до 0,58.

Результаты анализа загрязнения воздушного пространства Новочеркасска были сопоставлены с данными мониторинга загрязнения приземного слоя воздуха Ростова-на-Дону по тому же спектру загрязняющих веществ и в течение 2017–2021 годов.

Оценка уровня загрязнения воздуха Ростова-на-Дону производилась на основе анализа данных расположенных в разных районах города трех постов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха Федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Кавказское управление гидрометеорологической службы» (посты 51, 52, 55), имевших наиболее репрезентативный спектр учитываемых веществ [8].

Так, пост 51 расположен в центральной части Ростова-на-Дону, на пересечении автомагистралей с насыщенным движением; пост 52 приближен к зоне расположения промышленных предприятий; пост 55 расположен в селитебном районе города.

В таблице 1 представлены результаты сравнительной оценки уровней загрязнения воздушного пространства урбанизированных и индустриальных территорий Новочеркасска и Ростова-на-Дону за 2017–2021 годы. Показатели, иллюстрирующие уровень загрязнения воздуха, оказались в Новочеркасске более чем в 1,5 раза выше, чем в Ростове-на-Дону.

В Ростове-на-Дону вклад взвешенных веществ в риск здоровью немедленного действия оказался на 24 % больше, чем в Новочеркасске. Однако в Новочеркасске вклад концентрации оксида углерода в данный вид риска был в 2,5 раза существеннее, чем в Ростове-на-Дону [9].

Таблица 1

Оценка уровней загрязнения атмосферного воздуха Новочеркасска и Ростова-на-Дону

Показатель	г. Новочеркасск	г. Ростов-на-Дону
Параметр P по среднегодовым концентрациям	4,42	2,63
Параметр P по максимальным концентрациям	24,59	23,52
Индекс опасности при хроническом воздействии	35,70	24,34
Индекс опасности при остром воздействии	19,47	20,94
Риск хронической интоксикации	0,25	0,18
Риск немедленного действия	0,61	0,53

Результаты оценки вклада различных аэрополлютантов в риск немедленного действия представлены на рис. 2 и 3.

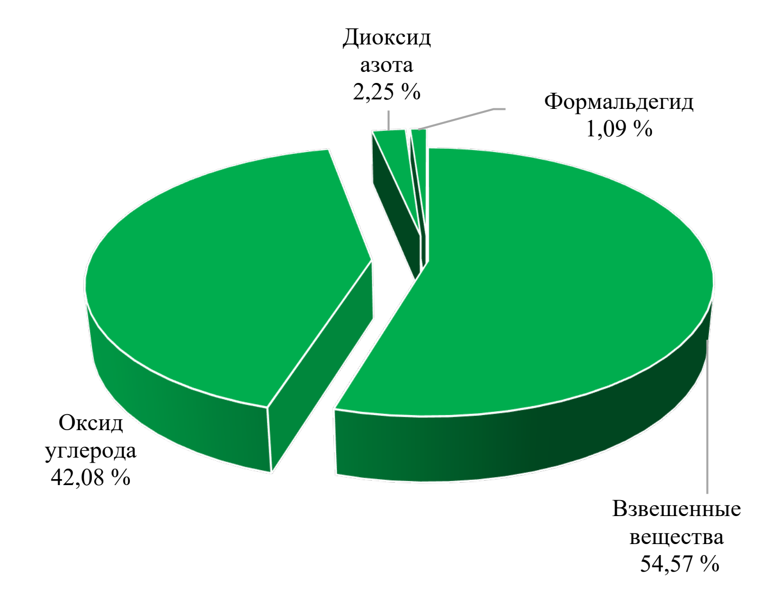


Рис. 2. Вклад загрязняющих веществ в риск немедленного действия для здоровья населения Новочеркасска

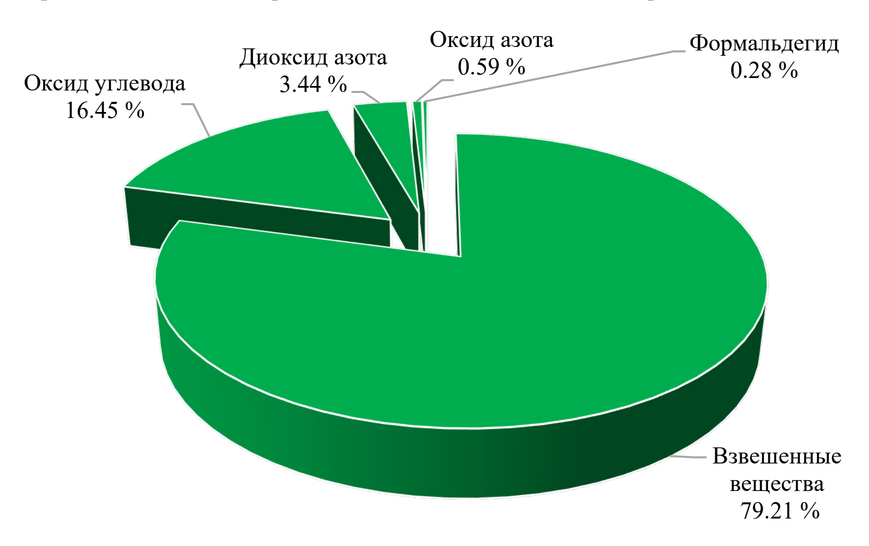


Рис. 3. Вклад загрязняющих веществ в риск немедленного действия для здоровья населения Ростова-на-Дону

Между тем, существенных различий между двумя городами по вкладу загрязнителей в риск хронической интоксикации не выявлено.

Обсуждение и заключение. Как показали проведенные расчеты, а также оценка и анализ полученных в данном исследовании результатов, опасный для здоровья населения Новочеркасска уровень загрязнения приземного слоя воздуха обеспечивается не только весьма существенными выбросами промышленных предприятий и автотранспорта, но и совокупностью таких факторов природного и антропогенного характера, как недостаточное количество осадков на фоне высокой повторяемости метеорологических процессов, способствующих аккумуляции антропогенных примесей в приземном слое, при снижении доли зеленых насаждений, включая городские леса и парковые зоны [10].

В числе наиболее значимых итогов исследования можно выделить следующие:

1. Состояние приземного слоя воздуха в пределах Новочеркасск неблагоприятное, поскольку установленные уровни загрязнения превышали допустимые санитарно-гигиенические нормативы. Наиболее высокую опасность здоровью населения города представляют присутствующие в приземном слое взвешенные вещества и оксиды углерода.

2. Анализ результатов расчетов показателя *P* в пределах Новочеркасска позволил установить опасный уровень загрязнения воздушного пространства. При этом кумуляция загрязняющих веществ в атмосфере Ростова-на-Дону оценивается как вызывающая опасение.

3. Воздействие загрязненного атмосферного воздуха может вызвать симптомы хронической интоксикации у 240–280 человек из тысячи, при достижении максимальных концентраций аэрополлютантов в наружном воздухе Новочеркасска от 579 до 692 человек из тысячи жителей могут испытывать неблагоприятные рефлекторные реакции.

4. Наиболее опасный характер имеет загрязнение воздушного пространства Новочеркасска, отмеченное в пределах поста II, находящегося на пересечении автомагистралей и приближенного к зоне воздействия промышленных предприятий.

5. В связи с опасным для здоровья уровнем загрязнения атмосферного воздуха рекомендуется расширение площади зеленых насаждений и создание двух дополнительных постов мониторинга загрязнения атмосферного пространства: в селитебной зоне города и вблизи Новочеркасской ГРЭС, в микрорайоне «Донской».

Список литературы / References

1. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. Окружающая среда и здоровье: приоритеты профилактической медицины. *Гигиена и санитария*. 2014;93(5);5–10.

Rakhmanin YuA, Mikhaylova RI. Environment and Health: Priorities for Preventive Medicine. *Hygiene and Sanitation.* 2014;93(5);5–10. (In Russ.)

2. Андреев С.С. *Интегральная оценка климатической комфортности на примере территории Южного федерального округа России*. Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет; 2011. 302 с. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_23963a035bf3491da5cc5a42d941e7d6.pdf (дата обращения: 23.05.2024).

Andreev SS. *Integral Assessment of Climatic Comfort on the Example of the Territory of the Southern Federal District of Russia.* Saint Petersburg: Russian State Hydrometeorological University; 2011. 302 p. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_23963a035bf3491da5cc5a42d941e7d6.pdf (accessed: 23.05.2024). (In Russ.)

3. Киселев А.В., Щербо А.П., Кислицын В.А., Новиков С.М. Сравнительный анализ расчетных методов определения средних ингаляционных экспозиционных нагрузок при оценке риска здоровью. *Гигиена и санитария*. 2006;1;42–44.

Kiselev AV, Shcherbo AP, Kislitsin VA, Novikov SM. Comparative Analysis of Methods for Calculating the Average Inhalational Exposure Loads in the Assessment of Health Risk. *Hygiene and Sanitation.* 2006;1;42–44. (In Russ.)

4. Щербо А.П. Мельцер А.В., Киселев А.В. *Оценка риска воздействия производственных факторов на здоровье работающих*. Санкт-Петербург: Терция; 2005. 115 с. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01002854973 (дата обращения: 23.05.2024).

Shcherbo AP, Meltser AV, Kiselev AV. *Assessment of the Risk of the Impact of Production Factors on the Health of Workers.* St. Petersburg: Tertsiya; 2005. 115 p. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01002854973 (accessed: 23.05.2024). (In Russ.)

5. Андреева Е.С., Климов П.В., Штенске К.С. Загрязнение атмосферного воздуха как один из факторов неканцерогенного риска здоровью населения города Ростова-на-Дону. *География и природные ресурсы*. 2021;42(1):42–48. https://doi.org/10.15372/GIPR20210105

Andreeva ES, Klimov PV, Shtenske KS. Atmospheric Air Pollution as One of the Factors of the Non-Carcinogenic Risk to Human Health in Rostov-on-Don. *Geography and Natural Resources.* 2021;42(1):42–48. https://doi.org/10.15372/GIPR20210105 (In Russ.)

6. Андреева Е.С., Климова Д.Н. Оптимизация системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в обеспечении экологической безопасности крупных городов. *Успехи современного естествознания*. 2023;6:40–46. https://doi.org/10.17513/use.38051

Klimova DN, Andreeva ES. Optimization of the Monitoring System of Atmospheric Air Pollution in Ensuring the Environmental Safety of Large Cities. *Advances in current natural sciences*. 2023;6:40–46. https://doi.org/10.17513/use.38051 (In Russ.)

7. Селегей ТС. Разработка усовершенствованного комплексного метеорологического показателя рассеивающий способности атмосферы. *Отчет о научно-исследовательской работе. по теме 1.43.15.* Новосибирск: СибНИГМИ; 2014. 131 с.

Seleguei TS. *Development of an Improved Integrated Meteorological Measure the Scattering Power of the Atmosphere.* Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote po teme 1.43.15. Novosibirsk: FGBU SibNIGMI, 2014. 131 p. (In Russ.)

8. Wild CP, Weiderpass E, Stewart BW (Eds.). World Cancer Report: Cancer Research for Cancer Prevention. 2021. URL: https://shop.iarc.fr/products/world-cancer-report-cancer-research-for-cancer-prevention-pdf (accessed: 23.05.2024).

9. Denisov OV, Bulygin YuI, Ponomarev AE, Ponomareva LA, Lebedeva VV. Innovative Solutions Shockproof Protection in Occupations Associated with an Increased Risk of Injury. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;50(1):012044. https://doi.org/10.1088/1755-1315/50/1/012044

10. Bulygin YuI, Zharkova MG, Alekseenko LN. Aerodynamical Probation of Semi-Industrial Production Plant for Centrifugal Dust Collectors' Efficiency Research. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;50(1);012002. https://doi.org/10.1088/1755-1315/50/1/012002

Об авторах:

Петр Валерьевич Климов, кандидат биологических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), SPIN-код: 8088-6868, ORCID, ResearcherID, ScopusID

Елена Сергеевна Андреева, доктор географических наук, доцент, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), SPIN-код: 2056-7152, ORCID, ResearcherID, ScopusID, meteo0717@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

П.В. Климов: обсуждение основной концепции и полученных результатов, доработка текста, выводов.

Е.С. Андреева: формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов, оформление.

Конфликт интересов: **авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Petr V. Klimov, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor of the Life Safety and Environmental Protection Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), SPIN-code: 8088-6868, ORCID, ResearcherID, ScopusID

Elena S. Andreeva, Dr. Sci. (Geog.), Associate Professor, Professor of the Life Safety and Environmental Protection Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), SPIN-code: 2056-7152, ORCID, ResearcherID, ScopusID, meteo0717@yandex.ru

Claimed Contributorship:

PV Klimov: discussion of the basic concept and the results, revision of the text and conclusions.

ES Andreeva: formulation of the basic concept, goals and objectives of the study, calculations, preparation of the text, formulation of conclusions, design.

Conflict of Interest Statement: **the authors do not have any conflict of interest.**

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 06.06.2024
Поступила после рецензирования / Revised 28.06.2024
Принята к публикации / Accepted 14.07.2024